

「第2次TRUレポート」での技術開発の取組状況と 今後の技術開発項目

平成18年1月25日

日本原子力研究開発機構
電気事業連合会

今後の技術開発項目の分類

分類		説明
	地下深部の原位置でのデータ取得・確認	<ul style="list-style-type: none"> 地下深部の原位置での物質の挙動の把握や確認。
	さらなる現象の解明や技術的知見の拡充	<ul style="list-style-type: none"> 現状の技術検討を基盤として、引続き理解を深めるべき現象や、より現実的な評価を行うために継続して実施していくもの。長期挙動を主体とした個別現象のさらなる解明や安全評価技術の高度化など。
	事業化技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 処分事業の事業化にあたっての技術開発。再処理により発生する廃棄体に係るデータ等の整備。サイト条件に応じた併置処分施設設計、建設・操業・閉鎖技術の高度化、モニタリング技術、処分場候補地に依存する地質・水理条件、物質移行挙動データの取得、など。
	代替技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 現状で安全評価上問題ないと考えられるものの、ヨウ素129・炭素14・アスファルト・硝酸塩などを含む長半減期放射性廃棄物(非発熱性)の特徴を踏まえ、さらなる廃棄体からの核種放出の抑制や核種移行への影響の緩和に対応するための技術として準備しておくもの。

技術開発の取組概要と今後の技術開発項目(1/5)

「超ウラン核種を含む放射性廃棄物処理処分の基本的考え方について」で示された技術開発課題の分類		取組の背景 (第1次TRUレポート[2000年3月]での状況)	取組状況 (第2次TRUレポート[2005年9月]での状況)	継続的な取組事項	分類
廃棄体データ(データベースの整備及び充実)	種類・発生量	<ul style="list-style-type: none"> ・日本原燃(JNFL)の廃棄物については、再処理施設等が本格稼動前であるため、国内外の既存の再処理廃棄物や放射化計算をもとに含有放射性核種量等を設定。 ・第1次レポートでは、施設運転に伴い発生し、既に固化されたもの、当時未処理のものに対して処理を想定したものを評価。 	<ul style="list-style-type: none"> ・旧核燃料サイクル開発機構(JNC),JNFLの最新データ(発生量、処理方法)に基づき廃棄物量を新たに積算。[p.2-6～13] ・施設の操業期間を変更しJNFLの再処理・MOX燃料加工施設の解体廃棄物を追加。[p.2-9～11] ・発電所廃棄物と同等の性状と考えられるチャンネルボックス(CB)及びバーナブルボイソン(BP)についても、再処理施設から発生するものとして発生量に追加。[p.2-10] ・英国BNGS返還廃棄物データを追加。[p.2-9～10] ・構造材料の不純物量及び中性子束分布等を見直すことによりC-14等の放射性核種濃度を現実的に評価。[p.2-14～16] 	<ul style="list-style-type: none"> ・JNFLの施設の操業に伴って今後発生する廃棄物や廃止措置に伴う廃棄物についての発生量、含有放射性核種量等の取得、データの拡充 	
	製作された廃棄体に対する信頼性の高い品質管理及び検認手法の整備	<ul style="list-style-type: none"> ・同上 ・多量の対象廃棄物に対し多くの放射性核種を合理的に測定、検認する手法が未確立。 [第1次レポートでは記載なし。] 	<ul style="list-style-type: none"> ・既存濃縮廃液固化体については核種濃度の実測値等に基づき放射性核種量等を設定。 ・廃棄物の基となる構造材料の不純物量及び中性子束分布等を見直すことによりC-14等の放射性核種濃度を現実的に評価。[p.2-14～16] ・破壊分析法等による確認実施。 	<ul style="list-style-type: none"> ・同上 ・非破壊外部測定法の開発等 	

注:「取組状況」欄の【 】内は第2次TRUレポートの該当頁を示す。

技術開発の取組概要と今後の技術開発項目(2/5)

「超ウラン核種を含む放射性廃棄物処理処分の基本的考え方について」で示された技術開発課題の分類	取組の背景 (第1次TRUレポート[2000年3月]での状況)	取組状況 (第2次TRUレポート[2005年9月]での状況)	継続的な取組事項	分類	
	人工バリア材料物性	<ul style="list-style-type: none"> ・処分施設にはセメント系材料を用いることを想定しているため、処分施設的环境が高アルカリ性になり、ベントナイト等の長期挙動に影響を及ぼす可能性あり。高アルカリ条件下での挙動を評価する以外に代替的に高アルカリ環境を変更する考えもあり。 ・第1次レポートでは、当時の知見の範囲内で劣化セメントの物性を安全側に設定。 ・Ca型化ベントナイトの物性はNa型ベントナイトと同程度と判断。 	<ul style="list-style-type: none"> ・変質セメントや変質ベントナイトを含む試料の透水係数、拡散係数を取得。[p.4-33] ・Ca型化ベントナイトの膨潤特性データを取得。[p.3-56] ・諸特性の変化を間隙率やモンモリロナイト部分密度を指標として定式化し、評価に適用。[p.3-56, 4-33] ・セメントクリンカー調整及びボゾラン材料の多量添加による低アルカリ性セメントの開発の現状の整理。[p.7-12~14] 	<ul style="list-style-type: none"> ・海水系地下水など地下水組成の異なる環境下での透水係数、拡散係数データの拡充 ・海水系地下水におけるCa型化ベントナイトの膨潤特性データの拡充 ・低アルカリ性セメントの変質や特性変化に係るデータの取得とモデル化 	
処分施設設計技術、工学技術	ニアフィールド構造解析	<ul style="list-style-type: none"> ・人工バリア及び周辺岩盤の力学安定性は、力学特性の変化、粘性挙動及び発熱等による圧力の上昇によって時間の経過とともに変化。地下水シナリオを主体とした安全評価にはバリアの長期健全性を評価する必要あり。 ・第1次レポートでは、大空洞長期クリープ変形解析を実施 ・既存のモデル・コードを用いて、人工バリア構造力学安定性解析を実施(緩衝材の圧密、クリープ変形など)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・人工バリアの力学特性の時間的な変化を考慮した力学挙動評価モデルの開発。[p.3-56~57] ・上記モデルと既存のモデルを用いて、長期的な力学安定性を解析評価(岩盤の長期クリープ、緩衝材の膨潤など)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・人工バリア長期変形評価モデルの高度化とその検証 ・地下深部における原位置での岩盤クリープに係るデータの取得 	
	処分施設の設計、工学技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・長半減期放射性廃棄物(非発熱性)廃棄物処分施設は、比較的大きな断面の処分坑道に廃棄物を集積配置する処分方法が採用されていることから、施設設計や建設・操業技術等について当該廃棄物に対応した技術開発が必要。 ・サイト依存性が強い設計要素については、処分場候補地に応じて検討する必要あり。 ・第1次レポートでは、廃棄物の特性(核種の濃度・組成、含有化学物質)に基づいて4グループに分類し、グループ毎に人工バリア、施設設計の仕様を例示。 	<ul style="list-style-type: none"> ・処分場候補地が決まらない段階として、亀裂などの地質環境を考慮した条件設定と、実際の施工手順をモデル化した上での掘削可能な空洞規模を示す。[p.3-19~27] ・海水影響、ベントナイト系材料のCa型化、現実的に可能な施工技術等最新の知見を踏まえた緩衝材仕様設計。[p.3-10~18] 	<ul style="list-style-type: none"> ・サイト特性に応じた処分場レイアウト、人工バリア仕様の合理化 ・施設設計、評価手法の具体化及び適用性、妥当性の検証、(例えば、空洞安定性評価における入力地震動の設定など) ・建設・操業・閉鎖技術の具体化、高度化及びそれら技術の実証 	

注:「取組状況」欄の【 】内は第2次TRUレポートの該当頁を示す。

技術開発の取組概要と今後の技術開発項目(3 / 5)

「超ウラン核種を含む放射性廃棄物処理処分の基本的考え方について」で示された技術開発課題の分類	取組の背景 (第1次TRUレポート[2000年3月]での状況)	取組状況 (第2次TRUレポート[2005年9月]での状況)	継続的な取組事項	分類	
	核種移行データ取得・整備	<ul style="list-style-type: none"> ・処分施設には、セメント系材料及び圧縮成型したベントナイトを使用することを想定しているため、これらの材料中の核種移行を評価するためのデータ設定を行う必要あり。 ・セメント系材料を使用するため、セメント系材料の影響を考慮した核種移行データを設定する必要あり。 ・第1次レポートでは、溶解度、収着分配係数等の核種移行データは既存の文献に基づき設定。 ・知見が不十分な特性は化学的特性が類似した元素の値を設定、評価上安全側になるよう保守的に設定することにより対処。 	<ul style="list-style-type: none"> ・熱力学データベース(JNC-TDB)の整備。[p.4-33, p.4-126] ・ヨウ素(I-129)、炭素(C-14)の岩石やセメントに対する収着分配係数取得し評価に反映。[p.4-126] ・金属溶出したC-14に有機形態が含まれることを確認。[p.4-132] ・セメント環境下での核種移行データの取得と評価への反映。[p.4-126] 	<ul style="list-style-type: none"> ・より現実的な評価を行うための熱力学データベースの拡充 ・海水環境などの多様な環境条件及びバリア仕様の変更を考慮したデータ取得 ・長期浸出試験による放出挙動など、より現実的な評価を行うための有機及び無機C-14に関するデータの取得 	
性能評価	セメント変質	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄体の充填、坑道の構造躯体や充填材としてセメント系材料を使用。 ・セメントと地下水の化学反応による変質モデルを構築し、化学的条件の変遷を評価する必要あり。 ・化学的条件の変遷評価においては、廃棄体溶出成分やひび割れ等の影響、変質に伴う力学影響等を評価する必要あり。 ・第1次レポートでは、普通ポルトランドセメント(OPC)と降水系地下水の化学反応による変質モデルを構築し、化学的条件の変遷を評価。 ・化学的条件の変遷評価における廃棄体溶出成分やひび割れ等の影響は、セメント系材料の物質移動抑制機能を無視することで対処。 ・変質に伴う力学影響については仮想的なパラメータスタディーにより影響を概略評価。 	<ul style="list-style-type: none"> ・OPCの水和物と降水系地下水の化学反応による変質モデルに、主たる廃棄体溶出成分の変質への影響及び変質に伴う物質移行パラメータの変化を反映し、化学反応と物質移行を連成させた評価手法を整備して評価を実施。[p.4-25 ~ 35] ・変質によるセメント系材料の力学特性変化に伴う構造的変化(空隙率等)とそれによる物質移行特性変化の評価手法を整備し、評価を実施。[p.3-55, p.4-33] 	<ul style="list-style-type: none"> ・海水環境などの多様な環境条件での評価 ・ベントナイト・セメント変質による特性変化の知見の拡充 ・処分場環境下におけるセメント系材料の変形モデルの検証 	
	アルカリ環境下ベントナイト・岩反応	<ul style="list-style-type: none"> ・ベントナイト及び岩が、セメント成分等との反応によって他の鉱物(ゼオライト、C-S-H)へ変質する可能性あり。ベントナイトの化学的変質や、変質に伴う緩衝材の物質輸送特性変化に関する知見を取得し、安全評価に反映する必要あり。 ・第1次レポートでは、化学的変質としてベントナイトの陽イオン交換のみを考慮し、緩衝材がCa型化し、間隙水が高いイオン強度になると評価。 ・変質に伴う緩衝材の物質輸送特性変化としてCa型化及び高イオン強度条件による透水係数、拡散係数を取得し、安全評価に反映。 ・ベントナイト及び岩の他の鉱物(ゼオライト、C-S-H)への変質は、知見不足のため未評価。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ベントナイトと降水系地下水の変質シナリオ(ゼオライトやC-S-Hの生成を含む)及び化学反応-物質輸送モデルを構築。このモデルを用いてイオン交換挙動、緩衝材構成鉱物の溶解・二次鉱物の生成挙動を解析評価。[p.4-35 ~ 57] ・ベントナイト変質に伴う実効拡散係数等の物質輸送パラメータの変化を評価し、安全評価に反映。[p.4-44] 	<ul style="list-style-type: none"> ・海水環境などの多様な環境条件でのデータ整備、評価手法の高度化 ・鉱物の熱力学データ等のより現実的な評価を行うための設定 ・岩盤の類型化及び岩盤構成鉱物の変質シナリオの構築、変質に伴う岩盤の物質移行特性への影響に関する知見の拡充 	

注：「取組状況」欄の〔 〕内は第 次 レポートの該当頁を示す。

技術開発の取組概要と今後の技術開発項目(4/5)

「超ウラン核種を含む放射性廃棄物処理処分の基本的考え方について」で示された技術開発課題の分類		取組の背景 (第1次TRUレポート[2000年3月]での状況)	取組状況 (第2次TRUレポート[2005年9月]での状況)	継続的な取組事項	分類
性能評価	硝酸塩 影響	<ul style="list-style-type: none"> 再処理プロセスから発生する廃液には、硝酸塩(主に硝酸ナトリウム)が含まれる。硝酸塩の影響については、これまで知見が不十分。 第1次レポートでは、硝酸イオンの拡がり予想される範囲において、強いイオン強度条件を考慮して、海水系でのデータを適用し、核種の収着分配係数を設定。 	<ul style="list-style-type: none"> 硝酸塩の化学的変遷を化学反応モデルにより検討。その結果を踏まえて、アンミン錯体の影響、ガス発生への影響、セメントの溶解挙動への影響、放射性核種の溶解度や収着分配係数への影響を検討。[p.4-103～104] グループ3の処分施設内及びその周辺は酸化性雰囲気前提とした溶解度及び収着分配係数を設定。[p.4-102～103] 	<ul style="list-style-type: none"> 地質媒体中での硝酸イオンの化学的変遷過程に関する知見の拡充及び現実的な硝酸塩影響範囲評価の実施 地下深部の原位置での硝酸塩等物質移行挙動の知見の拡充 硝酸塩による高イオン強度等による核種移行パラメータ等への影響の程度に関する知見の拡充 	
	ガス発生 影響	<ul style="list-style-type: none"> 人工バリアに与える力学的影響の点から金属の腐食による水素ガス発生量、有機物の微生物分解によるCH_4、CO_2ガス等の発生量を評価する必要あり。 施設内外におけるガス移行挙動を評価し、施設の安定性への影響や地下水を押し出すことによる核種移行の促進の有無を評価する必要あり。 第1次レポートでは、金属の腐食速度を既存データの範囲内で保守的に設定して水素ガス発生量を計算。 既存の微生物による有機物分解モデル/データを適用してCH_4、CO_2ガス等の発生量を計算。 均質多孔質媒体を仮定した二相流モデルによるガス移行を計算、排水量を評価。 	<ul style="list-style-type: none"> 微生物による金属腐食、有機物分解及び放射性分解を考慮したガス発生速度・量の算出。[p.4-106～107] 非放射性ガスを対象としたガス移行挙動に関して、適用性が高いと考えられる手法による移行解析結果を例示し、モデル化と解析上の比較を実施。[p.4-109～112, p.4-116～117] ガス内圧による緩衝材からの排水速度及び排水量を設定し核種移行解析を実施。[p.4-162～163] 	<ul style="list-style-type: none"> ガス発生速度の長期データの取得と粘土系材料におけるモデルの高度化・移行特性データ取得 亀裂性母岩における移行モデル開発、モデル確認及び移行データ取得 放射性ガスの発生に係る知見(材料の腐食データ等)の拡充 	
	システム性 性能評価	<ul style="list-style-type: none"> 母岩には亀裂がネットワーク状に存在するものがあり、母岩の特性に応じて適切な核種移行評価モデルを選定する必要あり。 処分後の長期にわたって起こり得る事象を網羅的に考慮して様々なシナリオを設定し、性能評価解析を実施する必要あり。 第1次レポートでは、堆積岩は均質多孔質媒体の移流・分散モデルを、結晶質岩は単一平行平板亀裂モデルを適用。地下水シナリオの変動シナリオや接近シナリオの評価は今後の課題。 	<ul style="list-style-type: none"> 亀裂ネットワークモデルとの比較を行った上で、1次元平行平板の重ね合わせの核種移行評価モデルの適用可能性を確認。[p.4-140～143] 各プロセスの重畳及びパラメータの不確実性を考慮した感度解析(包括的感度解析)を実施し、安全評価に大きな影響を与える重要度の高いパラメータを抽出。[p.4-175～4-184] 地下水シナリオの変動シナリオや接近シナリオの解析・評価を実施。[p.4-188～214] 	<ul style="list-style-type: none"> 人工バリアの長期挙動に対応した核種移行評価手法の詳細化 個別事象に関する最新の知見を反映したモデルの高度化とデータ設定 核種移行パラメータ間の相関を考慮した不確実性解析評価 有機形態C-14のより現実的な生物圏挙動の評価 生物圏評価におけるデータ(土壌等への収着分配係数)の拡充 	

注:「取組状況」欄の〔 〕内は第2次TRUレポートの該当頁を示す。

技術開発の取組概要と今後の技術開発項目(5 / 5)

「超ウラン核種を含む放射性廃棄物処理処分の基本的考え方について」で示された技術開発課題の分類		取組の背景 (第1次TRUレポート[2000年3月]での状況)	取組状況 (第2次TRUレポート[2005年9月]での状況)	継続的な取組事項	分類
併置処分に関する検討	相互影響評価	<ul style="list-style-type: none"> ・地層処分が想定される長半減期放射性廃棄物(非発熱性)を高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)と併置処分することが可能であれば、処分場数の減少、経済性向上の見込みあり。 <p>[第1次レポートでは想定せず。]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・併置処分を想定した場合に、両処分施設間で相互に影響を及ぼす可能性のある因子として、熱、有機物、硝酸塩、高pHを抽出し、影響範囲を評価。[p.6-6 ~ 38] 	<ul style="list-style-type: none"> ・離隔距離を律する硝酸塩等による高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)処分システムのバリア材に及ぼす影響の知見の拡充による合理化 	
	併置処分概念の合理化	<ul style="list-style-type: none"> ・同上 	<ul style="list-style-type: none"> ・相互影響への対応の見通し及び併置処分の見通しを示す。[p.6-38 ~ 39] 	<ul style="list-style-type: none"> ・様々なサイト条件に応じた離隔距離、配置、プラグ等の工学的対策を含めた合理的な併置処分施設設計の高度化 	
ヨウ素閉じ込め性能向上等	放射性ヨウ素固定化	<ul style="list-style-type: none"> ・I-129は半減期が長く、セメント系材料、ベントナイト系材料、岩石などへの収着性が小さく地中を移行しやすいため、I-129濃度の高い廃銀吸着材は地層処分対象。 ・第1次レポートでは、廃銀吸着材についてセメント固化体でも安全な処分が可能との見通しを示す。 	<ul style="list-style-type: none"> ・具体的なヨウ素固定化方法として8つの技術を示し、開発の現状と取得されているデータを取りまとめ。 ・4つの固定化技術についてヨウ素放出期間を10万年以上にする可能性の見通しを示す。[p.7-5 ~ 7] ・ヨウ素固定化の機構に応じた長期予測モデルの構築。[p.7-7 ~ 7-8] 	<ul style="list-style-type: none"> ・長期浸漬試験等の実施による長期予測モデルの検証 ・固化処理プロセスデータ取得、実規模固化体サイズの評価 ・ヨウ素固定化技術を適用した際の合理的な処分概念の検討 	
	放射性炭素の閉じ込め	<ul style="list-style-type: none"> ・C-14は半減期が長く、セメント系材料、ベントナイト系材料、岩石などへの吸着性が小さく地中を移行しやすいため、C-14濃度の高いハル・エンドピースは地層処分対象。 <p>[第1次レポートに記載なし。]</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・C-14が十分減衰するまで閉じ込めるための廃棄体容器の開発の現状を取りまとめ。[p.7-2 ~ 3] ・高強度高緻密コンクリート製とTi-Pd合金を用いた金属容器に関する開発状況を整理し、両容器とも十分な耐久性(6万年間の閉じ込め可能性)を有することの見通しを示す。[p.7-8 ~ 11] 	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート容器のひび割れ進展・閉塞挙動の評価 ・金属容器の加工部及び溶接部の長期健全性の評価 	

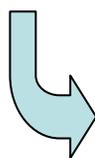
注:「取組状況」欄の【 】内は第2次TRUレポートの該当頁を示す。

代替技術について

- 現状で安全評価上問題ないと考えられるものの、ヨウ素129・炭素14・アスファルト・硝酸塩などを含む長半減期放射性廃棄物(非発熱性)の特徴を踏まえ、さらなる廃棄体からの核種放出の抑制、核種移行への影響の緩和に対応するための技術、すなわち「代替技術」を検討。
- これらの技術は現状の処分概念の代替となりうるものであるが、将来における適用の是非はその新たな代替技術の実証性や経済性等のバランスにより判断されるべきもの。

(長半減期放射性廃棄物(非発熱性)の特徴)

- 線量評価試算では、可溶性で低収着性の半減期が特に長い核種であるI-129,C-14が支配的
- 多量に使用するセメント系材料によるアルカリ成分により、バリアを構成するベントナイトや処分場周辺の岩盤が長期的に変質
- 硝酸塩のバリア機能への影響(腐食性, 収着性 等)



代替技術

1) 廃棄体からの核種放出の抑制

ヨウ素129に対する固定化技術(8種類)

[第1回検討会資料第3-1号,p38-40]

[第2回検討会参考資料-1,p18]

炭素14に対する長期閉じ込め技術(2種類)

[第2回検討会参考資料-1,p19]

2) 核種移行への影響の緩和

セメント/ベントナイト/岩 相互作用

- 低アルカリ性セメント(2種類)



硝酸塩・アスファルト廃棄体

- 硝酸塩分解処理技術



低アルカリ性セメントとは

<第1次TRUレポートでの取扱い>

緩衝材および岩盤の変質はセメント系材料からの浸出液に起因する高pH地下水であることから、浸出液のpHを低くした低アルカリ性セメントの使用が考えられることを記述した。

<高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)での取扱い>

高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)では、岩盤及び緩衝材の変質に対する対策として低アルカリ性セメントの使用に言及している。

<実施内容>

浸出液のpHを11以下に抑えられる低アルカリ性セメントに関して、機械的特性、施工性、化学的特性等の諸データを取得し、その使用可能性について検討した。

<第2次TRUレポートへの反映内容>

ポルトランドセメントにフライアッシュとシリカフェームを混合したセメント(HFSC^{*1})と、セメント原料の組成を制御したセメント(LAC^{*2})とについて、地下水の高pH化対策のための代替技術として検討し、機械的特性および化学特性(浸出液のpHなど)から、地下水のpHの上昇を抑制可能であること、およびOPC^{*3}と同等の機械的特性を持つことを示した。また、HFSCについては吹き付けコンクリートへの適用性についても記載した。

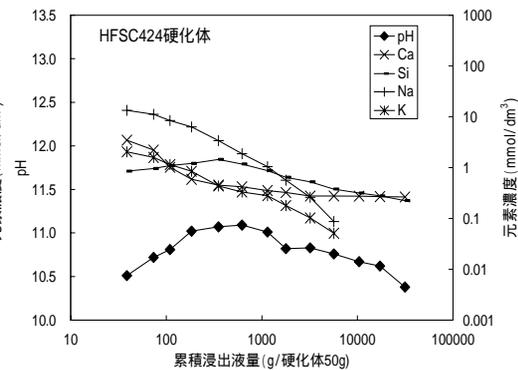
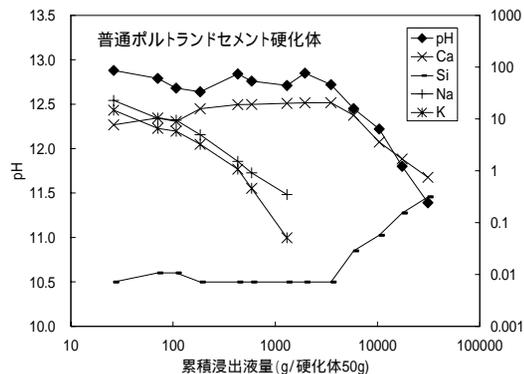


図 OPCと低アルカリ性セメント(HFSC)の浸出液のpHおよび各浸出成分の濃度の変化の例 (第2次TRUレポート根拠資料集7-4より)

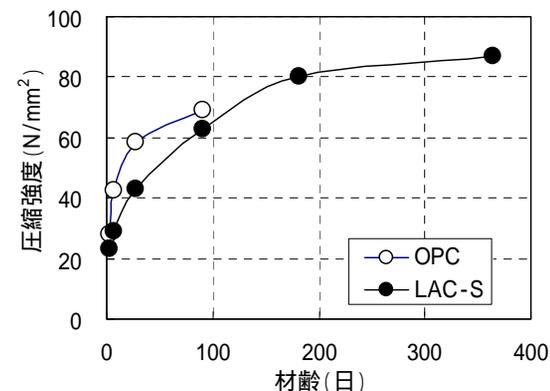
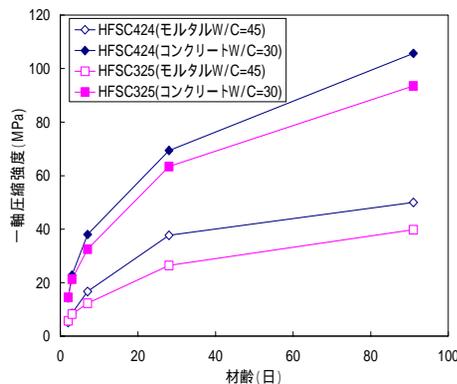


図 OPCと低アルカリ性セメント(HFSCおよびLAC-S)の一軸圧縮強度の変化 (第2次TRUレポート根拠資料集7-4および7-3より)

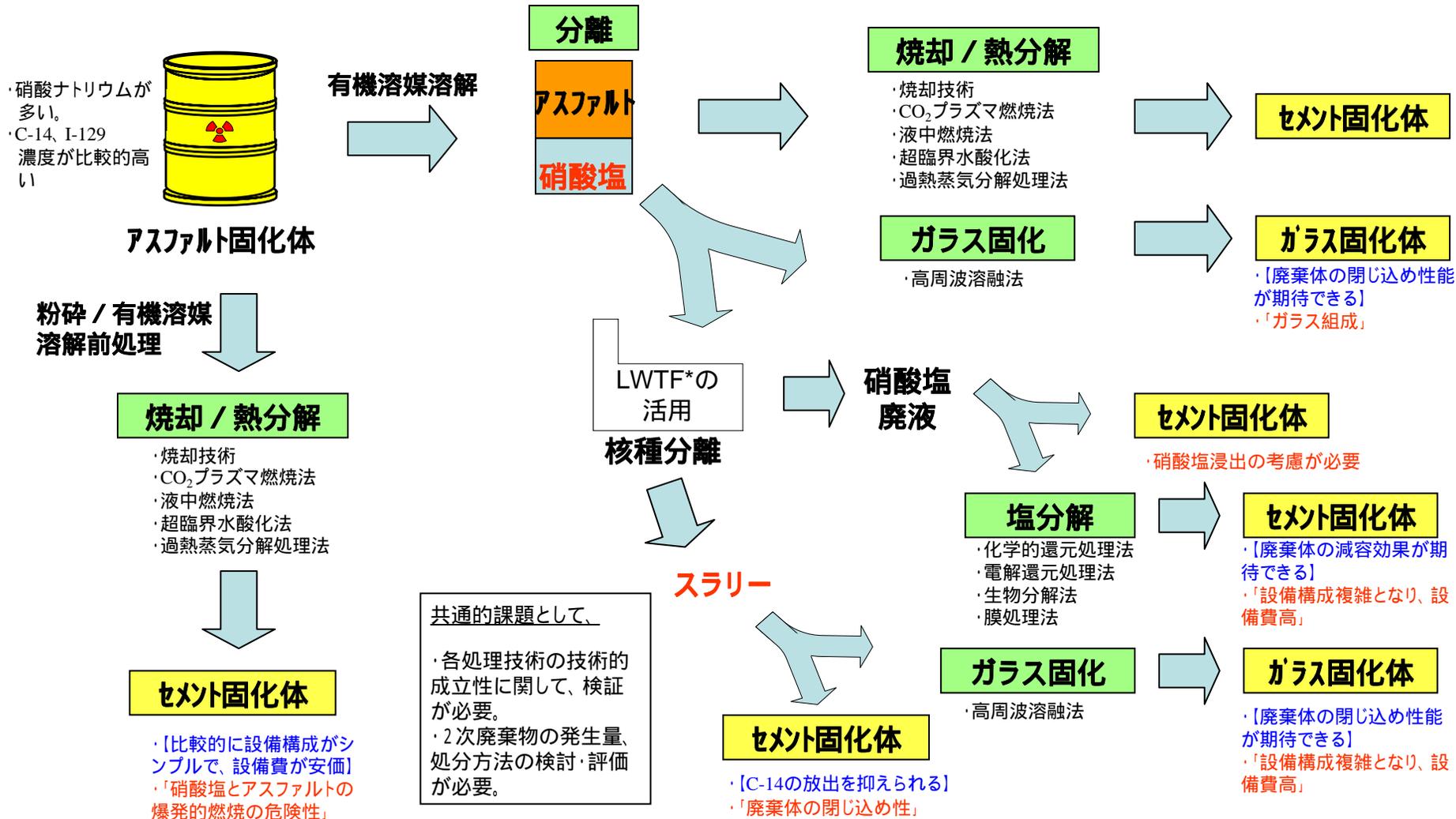
* 1: Highly Fly ash containing Silica fume Cementの略。フライアッシュやシリカフェームの混合率を変えた数種のものがある。

* 2: Low Alkalinity Cementの略。アーウィンを主成分としたクリンカーにセッコウを加えてpHおよびワーカビリティを調整したセメント。組成により数種のものがある。

* 3: JIS R 5210 に定められた普通ポルトランドセメント(Ordinary Portland Cement)。

日本原子力研究開発機構の アスファルト固化体に対する処理技術の検討

第2次TRUレポートでは、アスファルト固化体を地層処分した場合の評価を実施し実現可能性を示した。一方、その評価の不確実性を低減する手段のひとつとして、処理技術の検討も必要。



注* LWTF: Low Level Radioactive Waste Treatment Facility(低放射性廃棄物処理技術開発施設)
各固化体の下の記載は相対的な得失を示し、【 】は長所、「」は短所を指す。